

Le Géocorail ®

Un procédé pour la protection des plages et la stabilisation du trait de côte

Par Pierre-Joseph SCHARR – La Géopole de La Rochelle
Et Guy FACON - Océanide – *Directeur Général*

Résumé

Le procédé Géocorail® est un nouveau dispositif de protection contre l'érosion côtière qui s'appuie sur les procédés électrochimiques de protection cathodique. Ce nouveau dispositif est en cours d'expérimentation à La Rochelle. Il permet la création d'un conglomérat de sable durci qui permet de protéger la sous-couche sous le sable en créant une zone dure insensible à l'érosion due à la houle et au courant. Ce procédé est également applicable aux protections des falaises. La présentation décrira le principe de ce nouveau procédé, objet d'un brevet, ses diverses applications en génie côtier, et les premiers résultats expérimentaux.

Abstract

Geocorail® process is a new coastal safety device which is based on the electrochemical processes of cathodic protection. This new device is in the course of experimentation in La Rochelle. It allows the creation of a hardened sand conglomerate which makes it possible to protect the underlayer penny sand by creating a hard zone insensitive to erosion due to waves and current. This process is also applicable to protections of cliffs. The presentation will describe the working principle of this new process, object of a patent, its various applications in coastal engineering and the first experimental results.

Mots clés

Erosion, Plage, Falaise, Protection cathodique

1. La défense du trait de côte

En bord de mer, de multiples facteurs et en particulier la houle et le courant, contribuent au déplacement de quantités considérables de sable et de sédiments, la plupart du temps dans le sens d'un appauvrissement des plages et d'une déstabilisation progressive de dunes ou d'ouvrages maritimes, avec parfois, à l'opposé, un apport de matériaux qui vont contribuer à l'ensablement d'installations portuaires voisines.

Désaffectation de sites balnéaires, rupture de digues avec envahissement de polders, déplacement de cordons lagunaires fragiles, effondrement d'ouvrages portuaires, effritement des falaises et mise en péril d'habitations, telles sont les conséquences bien connues de ces phénomènes.

Si chaque site côtier présente des caractéristiques particulières, les observations montrent que c'est généralement la conjugaison de plusieurs facteurs qui génère les évolutions du littoral les plus importantes : diminution des apports naturels par les fleuves en raison d'aménagements en amont, présence d'ouvrages maritimes qui perturbent les effets des courants latéraux responsables du déplacement des matériaux le long des côtes, houles du large, vent et embruns qui délitent les falaises et sapent le pied des dunes.

Les solutions mises en œuvre pour contrer ces problèmes sont aussi nombreuses qu'onéreuses. On relève en moyenne, suivant les procédés, des coûts de 1000€ à 3000€ par mètre de littoral « protégé », si ce n'est davantage. Rares sont les techniques efficaces sur le long terme, le temps montrant même que certaines ont été contre-productives.

Les méthodes les plus répandues consistent en la construction d'épis perpendiculaires au rivage, de conceptions les plus diverses, et qui ne font que stopper, ou reporter à petite distance dans le meilleur des cas, le transport de matériaux par les courants latéraux. Les enrochements ont également de nombreux partisans, soit pour constituer des digues artificielles, soit pour « protéger » le pied de falaises déjà fortement érodées. A côté d'un effet non négligeable d'absorption de l'énergie de la houle, ces enrochements ont tendance à jouer les cache-misère en masquant des dommages déjà bien réels en pied d'ouvrages, et peuvent, s'ils ne sont pas correctement installés, renforcer le phénomène d'érosion.

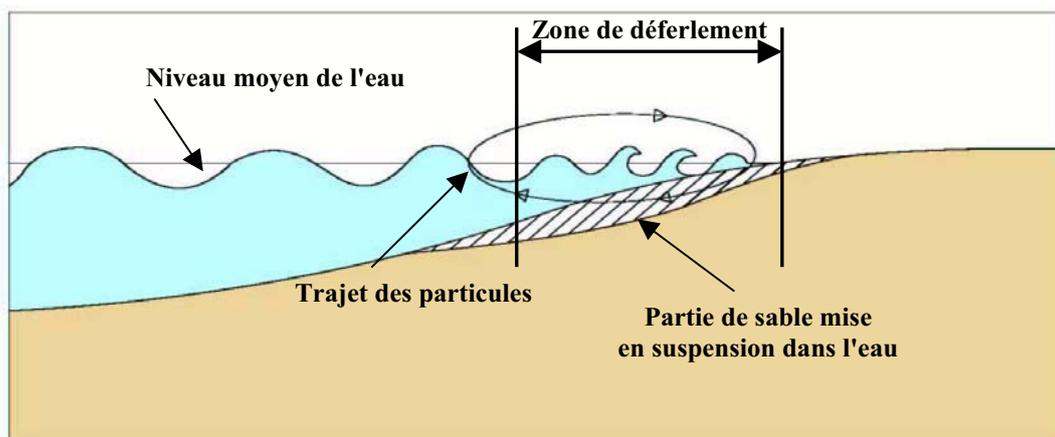
2. L'entretien des plages

Le ré-ensablement de certains sites, par pompage de sable en profondeur ou transport depuis un site plus riche, donne d'excellents résultats visuels et de confort pour les vacanciers, mais un ré-engraissement annuel s'avère nécessaire pour le maintien des résultats initiaux.

Une variante aux épis en dur consiste à installer des boudins en géotextile de 30 ou 40m de long, remplis de sable, qui font effet de filtres à eau et permettent aux sédiments et au sable de s'accumuler d'un côté ou de l'autre, selon le sens fluctuant des courants latéraux. On obtient, ainsi, un rechargement naturel qui donne certains résultats.

Le procédé d'assèchement du sous-sol en bord de plage, par drainage et pompage d'eau, permet d'éviter une trop grande fluidification du substrat, synonyme de disparition rapide des couches de sable supérieures. C'est un procédé lourd pour lequel on ne dispose pas encore d'un recul suffisant.

Principe d'un déplacement de sable sous l'effet de la houle et des courants
Circuit des particules en mouvement



3. Le Géocorail ®, nouveau procédé de lutte contre l'érosion côtière

Ce nouveau procédé breveté¹⁻², efficace et écologique, permet de maintenir le sable en place. Il peut également être utilisé pour renforcer la paroi verticale des falaises. Ce procédé consiste en une adaptation totalement novatrice des techniques de « protection cathodique » connues depuis longtemps pour protéger contre la corrosion les ouvrages métalliques enterrés ou immergés.

Sur des sites en bord de mer sujets à une forte dégradation liée à l'érosion, le principe consiste à favoriser, par électrolyse de l'eau de mer, la création d'un ciment naturel - le Géocorail ® -, composé à partir de sable, d'ions précédemment dissous dans l'eau de mer, et de sédiments. On arrive

ainsi à créer un conglomérat extrêmement résistant autour d'un grillage en métal servant de cathode et donnant sa cohésion au Géocorail.

La Protection cathodique d'un ouvrage métallique consiste à abaisser son potentiel électrochimique en dessous d'une valeur seuil appelée « potentiel de polarisation », ce qui a pour effet d'inhiber totalement les phénomènes de corrosion sur cet ouvrage.

Sans protection, le potentiel électrochimique naturel d'un acier dans l'eau de mer est de l'ordre de -600mV/ ECS (mesuré avec une Electrode de référence au Calomel Saturé).

Pour abaisser ce potentiel en dessous du seuil de polarisation qui est de l'ordre de -800mV/ECS , on fait circuler un courant électrique continu délivré par un générateur entre une anode et la cathode constituant le métal à protéger, elle-même reliée au pôle négatif du générateur. Notons que le courant électrique très basse tension mis en œuvre ne présente aucun danger, ni pour la faune et la flore, ni *a fortiori* pour l'homme.

Les anodes utilisées en eau de mer sont généralement en titane recouvert d'oxydes de métaux précieux. Elles sont enterrées ou immergées à distance de l'ouvrage à protéger. Leur tension est limitée à quelques volts.

Quand le potentiel de l'ouvrage métallique atteint le seuil de polarisation, tout phénomène de corrosion est stoppé et l'on observe à la surface du métal, après quelques semaines, la formation d'un dépôt blanchâtre, dont l'épaisseur ne dépasse pas 2 à 3 mm, qui durcit avec le temps et contribue à l'immunité du métal. Ce dépôt, connu des spécialistes sous le nom de « calco-magnésien », provient de la précipitation d'ions contenus dans l'eau de mer, et comprend essentiellement du carbonate de calcium - CaCO_3 , ainsi que de l'hydroxyde de magnésium - Mg(OH)_2 en quantité beaucoup plus importante.

4. Quelques précisions sur le processus

Le procédé de formation du Géocorail utilise également un générateur de courant continu relié à une anode et à une structure métallique. Mais cette fois, des variations cycliques du courant de polarisation, contrôlées par des mesures du pH de l'eau de mer, vont permettre d'obtenir un dépôt beaucoup plus proche de la constitution d'un mortier ou d'un ciment maigre, ce qui va favoriser la formation d'un conglomérat de sable, de galets et de sédiments divers, mélangés aux ions CaCO_3 et Mg(OH)_2

présents, cette fois, dans des proportions inversées par rapport à la description précédente.

Ce mélange d'ions favorise la cohésion du conglomérat ainsi formé qui va prendre du volume et durcir progressivement autour de la structure métallique.

Jusqu'à présent, il n'existait pas de procédé permettant de favoriser, tout en la contrôlant, la constitution d'un tel ciment naturel, et les dépôts calco-magnésiens dont parle la littérature sont d'épaisseur beaucoup trop faible et de consistance insuffisante pour être utilisés à grande échelle à la protection d'un littoral marin ou lagunaire formé de plages de sable ou de galets, ou à la consolidation et au renforcement de dunes, de falaises ou d'installations à usage industriel ou d'habitation.

Pour la mise en œuvre du procédé de formation du Géocorail, on établit un courant électrique continu basse tension entre une ou plusieurs anodes, enterrées à quelque distance du rivage, et la structure métallique conductrice formant cathode, de manière à permettre la polarisation cathodique de la structure. Ce qui entraîne un échauffement de celle-ci, une élévation du pH, et un dégagement de CO_2 . Un déplacement des équilibres ioniques se produit, avec une sursaturation du milieu en sels CaCO_3 et $\text{Mg}(\text{OH})_2$ suivie de leur précipitation, contribuant à la création d'un dépôt minéral formant agrégat autour de la structure métallique.

La composition de cet agrégat varie considérablement en fonction du pH du milieu au contact avec la structure, pH qui détermine les taux de sursaturation de CaCO_3 et de $\text{Mg}(\text{OH})_2$ qui varient - dans une eau de mer à 20°C - d'une proportion en masse [CaCO_3 / $\text{Mg}(\text{OH})_2$] d'une valeur de l'ordre de 1/10 - relevée pour $\text{pH}=9,4$ -, à une valeur d'environ 10/1 - relevée pour $\text{pH}=10,6$ -.

On a observé que l'agrégat ainsi formé par déposition électrochimique présentait une consistance molle et gélatineuse lorsque sa composition montrait un taux élevé de brucite (dépôt d'Hydroxyde de Magnésium, de formule chimique $\text{Mg}(\text{OH})_2$) par rapport au taux d'aragonite (Carbonate de Calcium, de formule chimique CaCO_3). On a découvert qu'un tel agrégat à consistance molle présentait la propriété de favoriser naturellement la constitution d'un amalgame avec du sable, des éléments minéraux ou d'autre nature, présents dans le milieu ou artificiellement ajoutés à proximité de la structure métallique formant cathode. Enfin, on a constaté que, à l'inverse, l'agrégat présentait une consistance de plus en plus dure à mesure que le taux d'aragonite augmentait par rapport à celui de la brucite dans le dépôt électrochimique. On obtient une dureté maximale de l'agrégat pour un ratio en masse [CaCO_3 / $\text{Mg}(\text{OH})_2$] compris dans une fourchette de

valeurs allant de 5 à 20. En résumé, la composition de l'agrégat et sa consistance vont présenter des caractéristiques variables en fonction des cinétiques de précipitation et de redissolution de la brucite.

D'où la nécessité de piloter ces cinétiques à partir des paramètres principaux suivants : densité des courants de polarisation cathodique appliqués à la structure, potentiel cathodique atteint par cette structure et durée d'application à la structure de ces densités de courant.

Dans le cas particulier de chaque ouvrage traité, afin d'obtenir les caractéristiques recherchées en matière de composition, de consistance et de durabilité de l'agrégat de Géocorail, le pilotage du procédé sera effectué, en fonction des valeurs du pH mesuré au voisinage de la structure, sur les valeurs des paramètres ci-dessus, en tenant compte des caractéristiques locales, en l'occurrence la température de l'eau de mer, sa composition (notamment sa salinité), son aération et son agitation.

Diverses mesures effectuées sur site ou en laboratoire, ont complété des résultats de travaux antérieurs³⁻⁴, montrant que les conditions de la précipitation de la brucite étaient peu affectées par la température. Par exemple, à une température de 5°C, la précipitation de la brucite commence progressivement pour un potentiel de polarisation de la structure voisin de -1000mV/ECS et pour une valeur du pH d'environ 9,4. A une température de 20°C, elle commence à se produire pour un potentiel de polarisation de la structure voisin de -950mV/ECS et pour une valeur du pH voisine également de 9,4. Pour des valeurs du potentiel de polarisation de la structure croissant en valeur absolue de -1000 à -1200mV/ECS, le dépôt de brucite se fera de plus en plus rapidement. Il est à remarquer que ce dépôt sera plus rapide que celui de l'aragonite, bien que commençant à une valeur de pH supérieure.

Dans le cas de l'aragonite, en effet, la précipitation est plus lente et fortement affectée par la température. Ainsi, à 5°C, le dépôt d'aragonite commence à être observable seulement après 48 heures environ, pour une valeur du potentiel de polarisation de la structure voisine de -1000mV/ECS et pour une valeur du pH d'environ 8,65. Tandis qu'à 20°C, la précipitation de l'aragonite commence à être visible déjà après 4 à 6 heures, sous un potentiel de polarisation de la structure de -950mV/ECS et à un pH d'environ 8,35. On rappelle que le pH de l'eau de mer est d'environ 8,2 à cette température.

Enfin, il est important de noter que le précipité de brucite commence à se re-dissoudre si l'on favorise une redescende du pH en dessous de la valeur de 9,4, alors que l'aragonite ne se re-dissout jamais.

Le procédé de formation du Géocorail met successivement en œuvre les trois phases suivantes :

Phase 1) : on impose une densité de courant entraînant la polarisation négative de la structure, l'élévation du pH au dessus de 9,4 et la précipitation progressive, au contact avec la structure, de la brucite et de l'aragonite contenues dans l'eau de mer avec formation d'un agrégat mou appelé « agrégat primaire ».

Phase 2) : on favorise avec le temps la formation d'un conglomérat relativement mou par incorporation naturelle à l'agrégat primaire d'éléments solides, minéraux ou non, présents originellement dans l'électrolyte à proximité de la structure ou rajoutés à proximité immédiate de celle-ci.

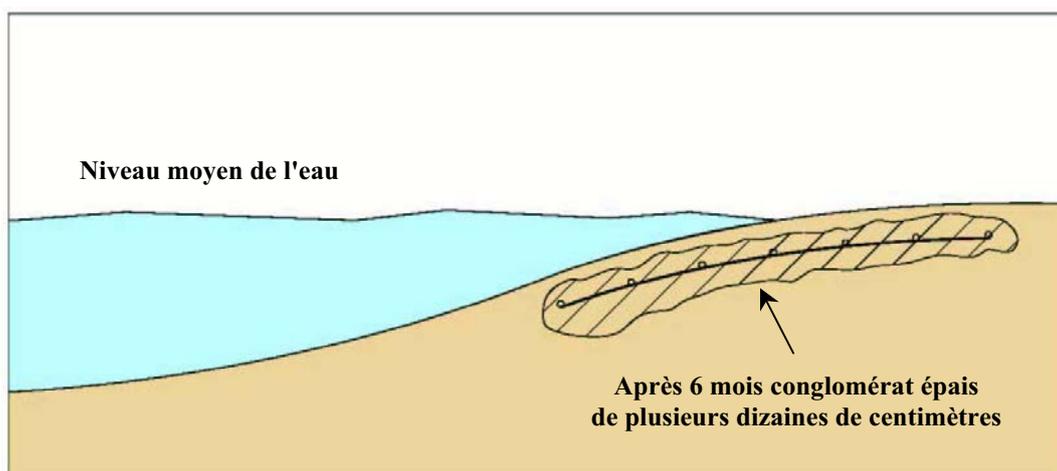
Phase 3) : on abaisse la densité du courant de polarisation jusqu'à obtention d'un pH inférieur à 9,4 et supérieur à 8,35. Cette phase permettra la re-dissolution d'une partie importante de la brucite, tout en maintenant les conditions nécessaires à une continuation du dépôt d'aragonite. On réalise ainsi le durcissement progressif du conglomérat de la phase 2), à mesure que le ratio en masse $[\text{CaCO}_3 / \text{Mg}(\text{OH})_2]$ se rapproche d'une valeur comprise entre 5 et 20, et ceci jusqu'à obtention des caractéristiques recherchées pour le Géocorail dans le cas considéré.

5. Mise en œuvre in situ

La structure métallique cathodique s'installe soit directement sous le sable, soit dans une enveloppe géotextile semi-étanche contenant du sable et des sédiments. Cette dernière technique facilite la mise en œuvre du procédé dans certains environnements difficiles et permet d'accélérer le processus de formation du Géocorail en lui donnant une meilleure cohésion assortie des différentes qualités recherchées.

On crée de la sorte, à une profondeur choisie de quelques dizaines de centimètres, un tapis pesant, ferme et doux au toucher, empêchant les couches de sable inférieures d'être soulevés par la houle et limitant fortement le phénomène d'enlèvement par hydraulification, maintenant ainsi la majeure partie du sable en place.

Plage en coupe : Formation du Géocorail dans son enveloppe



Le sable situé sous le tapis de Géocorail n'étant plus mis en suspension sous l'attaque des vagues et de la houle, restera en place. Le sable superficiel peut disparaître pendant les tempêtes d'hiver mais sera facilement remblayé au début de chaque saison. Ainsi, les quantités à étendre, uniquement en ajout, seront beaucoup plus faibles en présence de Géocorail, le réensablage annuel se faisant pour un coût bien inférieur aux systèmes classiques.

Les premiers résultats expérimentaux avaient été obtenus dans les années 90 sur la plage de Sauzon, à Belle-Ile-en-mer. Des agglomérats significatifs montraient une réelle potentialité du procédé à la formation d'un tapis de rétention du sable sur des plages soumises à la forte érosion des marées d'équinoxe.

Un premier chantier de démonstration a été réalisé, en 2002, sur la plage de La Cible, à Saint-Martin de Ré, à la demande de la Communauté

d'agglomérations de l'île de Ré, pour vérifier la possibilité d'établir une liaison semi-naturelle durable entre un épi rocheux et une plage sablonneuse rongée par les courants. Le cas est fréquent sur cette île qui a pris sa configuration actuelle par comblement progressif alluvionnaire des lagunes séparant, autrefois, plusieurs îlots. Des digues édifiées autour d'étendues gagnées sur la mer, véritables polders situés en dessous du niveau maximum des marées, tentent d'éviter leur envahissement épisodique par l'eau salée.

Actuellement, sous l'effet de plusieurs phénomènes conjugués, ces digues sont régulièrement mises à mal, notamment la digue de Saint Clément, constituant autant de points faibles qu'il faut conforter, parfois d'une marée à l'autre, et qui pourraient être consolidés durablement par la formation de Géocorail.

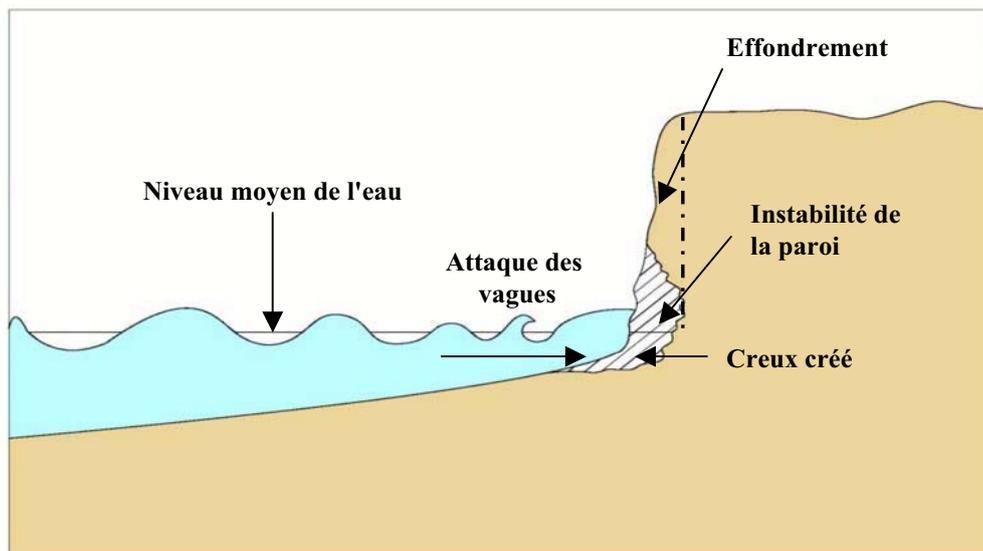
Les résultats obtenus à Saint Martin ont démontré l'efficacité du procédé sur une plage sablonneuse (voir l'analyse des blocs de Géocorail figurant en Annexe), si bien que la Communauté d'agglomération de La Rochelle, associée au Conseil Général de Charente Maritime et au Conseil Régional de Poitou-Charentes, nous a commandé, en 2005, la mise en œuvre d'un essai de consolidation de la falaise des Minimes à La Rochelle, soumise à une érosion spectaculaire continue, y compris dans des parties généralement hors d'eau. Ce chantier totalement original est actuellement en cours, avec le concours du LEMMA de l'Université de La Rochelle. Ses résultats de cette expérimentation sont en cours d'analyse.

6. Le cas des falaises

Les falaises bordant l'Atlantique sont généralement constituées de couches alternées de sédiments et de dépôts alluvionnaires à forte teneur en argile. L'action de l'eau de mer, projetée violemment sur les parties basses, provoque une dilution continue des couches d'argile et leur disparition progressive, rendant instables les strates sédimentaires supérieures.

Un renforcement du pied des falaises par apport de blocs de rochers est souvent utilisé. Ceux-ci ont pour effet d'amortir la puissance de la houle avant qu'elle ne vienne frapper la falaise. Cependant, dans les parties déjà fortement attaquées, cette protection ne fait que retarder la chute des parties supérieures minées et instables. A ceci, s'ajoute un effet report de l'action de la houle qui utilise les rochers comme rampe de lancement pour attaquer les couches supérieures non protégées par les enrochements.

Falaise érodée à sa base



Le procédé du Géocorail pourra utilement être mis en œuvre sur une falaise grâce à trois techniques différentes :

- la technique du Bourrelet dans laquelle le treillis métallique est enfermé dans un sac semi-étanche rempli de sable et de sédiments afin d'accélérer le processus. Le bourrelet sera installé à la base de la falaise, de manière à combler les cavités déjà formées et va se transformer progressivement en un bloc de Géocorail ancré entre l'estran et les parties verticales ou en surplomb.
La même technique pourra être utilisée pour combler une fissure longitudinale, afin d'y remplacer la couche d'argile disparue du fait de l'érosion et de rétablir, au moins partiellement, la stabilité des strates supérieures.
- la technique du Coussin permettra, de façon similaire, de combler une fissure verticale ou une cavité et de restaurer localement la consistance et la solidité de la falaise.
- l'obstacle Brise Houle, installé en pleine eau, face aux parties les plus exposées de la falaise, et destiné à casser la force des vagues les plus percutantes et à en réduire l'impact.

7. Autres applications du procédé

Le procédé de mise en œuvre du Géocorail trouve également des applications partout où des ouvrages maritimes sont soumis au phénomène d'affouillement à leur base.

Il peut s'agir de pontons, de quais, piles de ponts, remblais, digues ou caissons posés sur le fond, ou de bien d'autres ouvrages en pleine eau

comme les plate-formes pétrolières gravitaires, soumises à l'attaque des courants sous-marins et menacées de déséquilibre.

Dans le cas de canalisations ou de câbles sous-marins, le procédé permet de lester ces ouvrages tout en les protégeant contre les chocs et les agressions et en évitant la formation d'affouillements.

Signalons que le procédé peut rester actif en permanence, ou être réactivé temporairement le temps d'auto cicatrisation d'éventuelles dégradations ultérieures.

8. Mise en œuvre du procédé de Géocorail en parties aériennes

Le procédé sera, le plus souvent, mis en œuvre en pleine eau ou dans des zones de marnage. C'est ce qui a été testé avec succès sur l'île de Ré, en 2003, sur une plage sableuse soumise à l'érosion.

Un point fort du procédé consiste en la possibilité de le mettre en œuvre également dans des zones aériennes situées hors des zones de marnage. Il a ainsi été testé, en 2005, sur la falaise des Minimés, à La Rochelle, pour vérifier ses capacités à combler diverses cavités dangereuses pour la stabilité de la falaise et situées à mi-hauteur, dans des zones pratiquement toujours hors d'eau.

En effet, dans la mesure où le sable et les sédiments nécessaires à la formation du Géocorail sont contenus dans l'enveloppe semi-étanche dont nous avons parlé plus haut, l'apport d'ions hydroxydes et carbonates, et celui de divers autres constituants qui vont améliorer la cohésion de l'ensemble, peut être réalisé par arrosage cyclique à l'eau de mer des parties concernées.

C'est là toute l'originalité du procédé de formation du Géocorail qui peut, ainsi, être utilisé pour la stabilisation du trait de côte dans des zones sablonneuses soumises au marnage, mais également en pied de dunes dans des parties rarement atteintes par la mer mais soumises à une forte érosion due au vent, ainsi que pour la protection et le renforcement d'ouvrages artificiels en pleine eau ou généralement hors d'eau.

9. Quelques éléments de coût

L'utilisation du procédé de Géocorail concerne, comme on l'a dit, des cas de figures très variés. Pour certains cas pour lesquels il n'existe pas de

procédés concurrents, il est difficile de définir une unité d'œuvre et d'en donner un chiffrage, par exemple dans le cas d'une intervention de consolidation d'une partie aérienne d'une falaise.

Pour une opération plus classique de consolidation d'une plage sablonneuse ou d'un pied de dune, la différentielle des coûts de revient sera de l'ordre de 40% à 60% inférieure aux techniques d'intervention classiques et même davantage lorsque des solutions lourdes doivent être mises en place. La consommation annuelle initiale d'électricité du processus ne représente, quant à elle, que quelques pour cent du coût d'investissement.

Notons enfin qu'il est réaliste d'envisager de combiner le procédé de Géocorail à différentes autres techniques de défense du littoral, l'un renforçant l'autre, dans une synergie permettant à chacun de donner sa pleine mesure.

10. Le Géocorail en résumé :

Le procédé de formation du Géocorail représente une solution nouvelle pour la défense du trait de côte, peu onéreuse et respectueuse de l'environnement, car :

Facile à mettre en œuvre

Le **Géocorail** est produit par électrolyse de l'eau de mer sous un courant électrique très basse tension et sans danger

Efficace

Le **Géocorail** fait bloc et protège les sites maritimes des attaques des éléments qu'il s'agisse de sites en pleine eau, en bordure du littoral ou en élévation

Durable et auto-cicatrisant

Le **Géocorail** se forme au fil du temps et se restaure de lui même

Ecologique

Le **Géocorail** fixe des éléments naturellement présents dans l'eau de mer sans apports extérieurs

Esthétique : Couleur locale

100% naturel, le **Géocorail** ne dénature pas la physionomie de la côte

Adaptable

La solution pour chaque plage ou falaise est étudiée au cas par cas et la technique utilisée est adaptée en conséquence.

—

ANNEXE

Résultats d'analyse

	<i>Échantillon n°1</i>	<i>Échantillon n°2</i>
<i>Aspect</i>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Roche la plus foncée (teinte gris vert) ➤ Roche assez dense avec beaucoup de sédiments (petits coquillages) 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Roche la plus jaune ➤ Roche la moins dense (beaucoup de porosités) ➤ Très peu de coquillages
<i>Lieu d'expérimentation</i>	Belle-Ile-en-mer (56)	Ile de Ré (17)

Tableau A : Description de l'aspect de deux dépôts obtenus dans des lieux différents

Des expérimentations similaires à celles effectuées sur la falaise des Minimes, ont été effectuées, notamment à Belle-Ile-en-mer dans les années 90 et à l'Ile de Ré en 2002/2003. Il faut noter que les dépôts observés sur les grillages en acier ont été obtenus dans des conditions différentes : la nature du sable, la durée d'immersion des grillages en eau de mer, les anodes.

Analyse des spectres de diffraction des rayons X

Nous avons décidé de réaliser une diffraction des rayons X sur ces deux échantillons. Le spectre de l'échantillon n°1 correspond au spectre « Falaise 1 » et le spectre de l'échantillon n°2 correspond au spectre « Falaise 2 ».

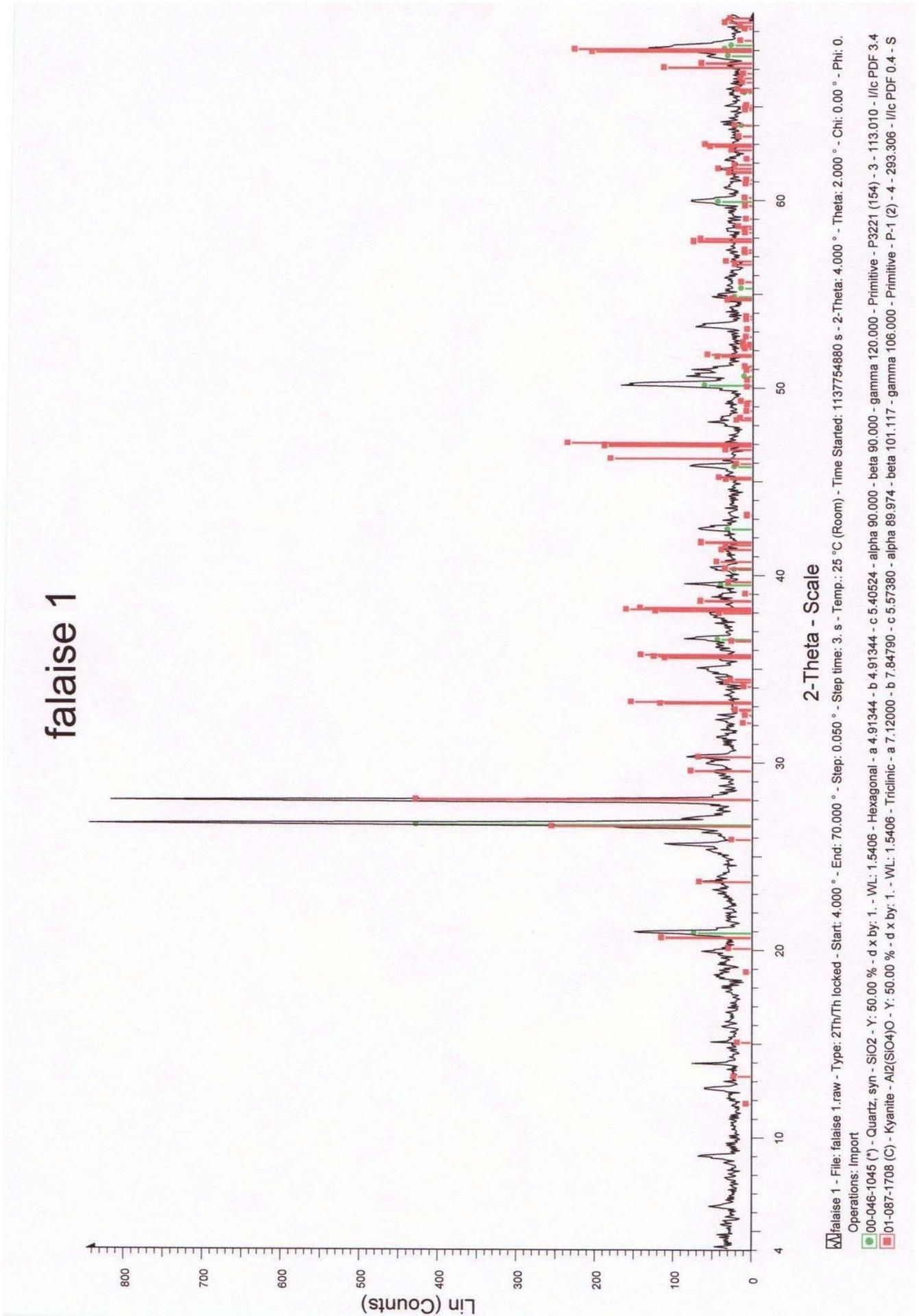
Le spectre de l'échantillon n°1 montre la présence de quartz SiO_2 et de Al_2SiO_5 . La présence de quartz n'est pas étonnante puisque le Géocorail possède du sable dans toute sa structure. Le composé Al_2SiO_5 est un alumino-silicate qui aurait pu se former grâce à une réaction entre deux grains de nature différente. Cependant, on ne détecte ni la présence de calcaire ni la présence de magnésie. On peut interpréter cette observation par le fait que le dépôt ne contienne pas assez de ces composés pour être détectés par DRX. En effet, l'échantillon contient beaucoup de sédiments tels que les coquillages et les galets rendant alors la roche assez dense.

Le spectre de l'échantillon n°2 met également en évidence la présence de quartz. Deux formes cristallines du calcaire apparaissent sur le spectre : l'aragonite et la calcite. En outre, la forme cristalline de la magnésie, la brucite, est aussi présente. Le dépôt calcomagnésien est ainsi détecté pour ce fragment de roche. Les sédiments étant moins présents dans cet échantillon, la roche est moins compacte, moins dense et donc plus poreuse. Une telle porosité est préférable car elle permet aux espèces oxydantes de diffuser plus aisément et ainsi d'obtenir un dépôt plus conséquent.

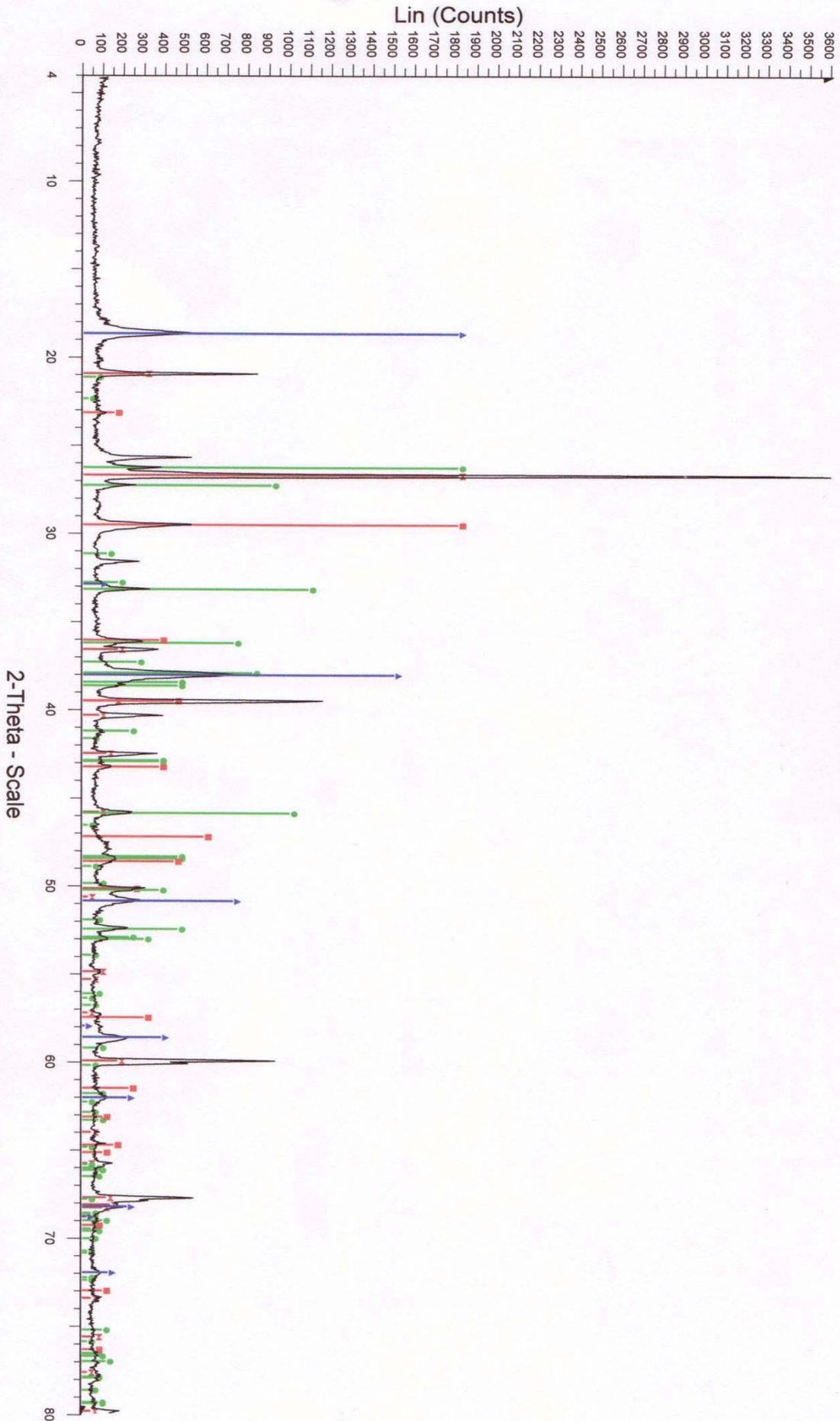
On peut en conclure que la présence de sédiments dans le Géocorail permet de durcir la roche en comblant les porosités de celle-ci.

Pendant le mois de décembre 05, on a eu l'occasion d'observer une matière d'aspect et en forme de coton sur les grillages en acier. Cette matière n'était présente que lorsque les grillages rentraient en contact avec la falaise, c'est-à-dire au niveau 2 de la falaise. On a donc voulu déterminer la nature de ce matériau en réalisant un prélèvement d'échantillon sur le site et en réalisant une analyse par diffraction des rayons X. Le spectre est appelé « PF1, poudre falaise ».

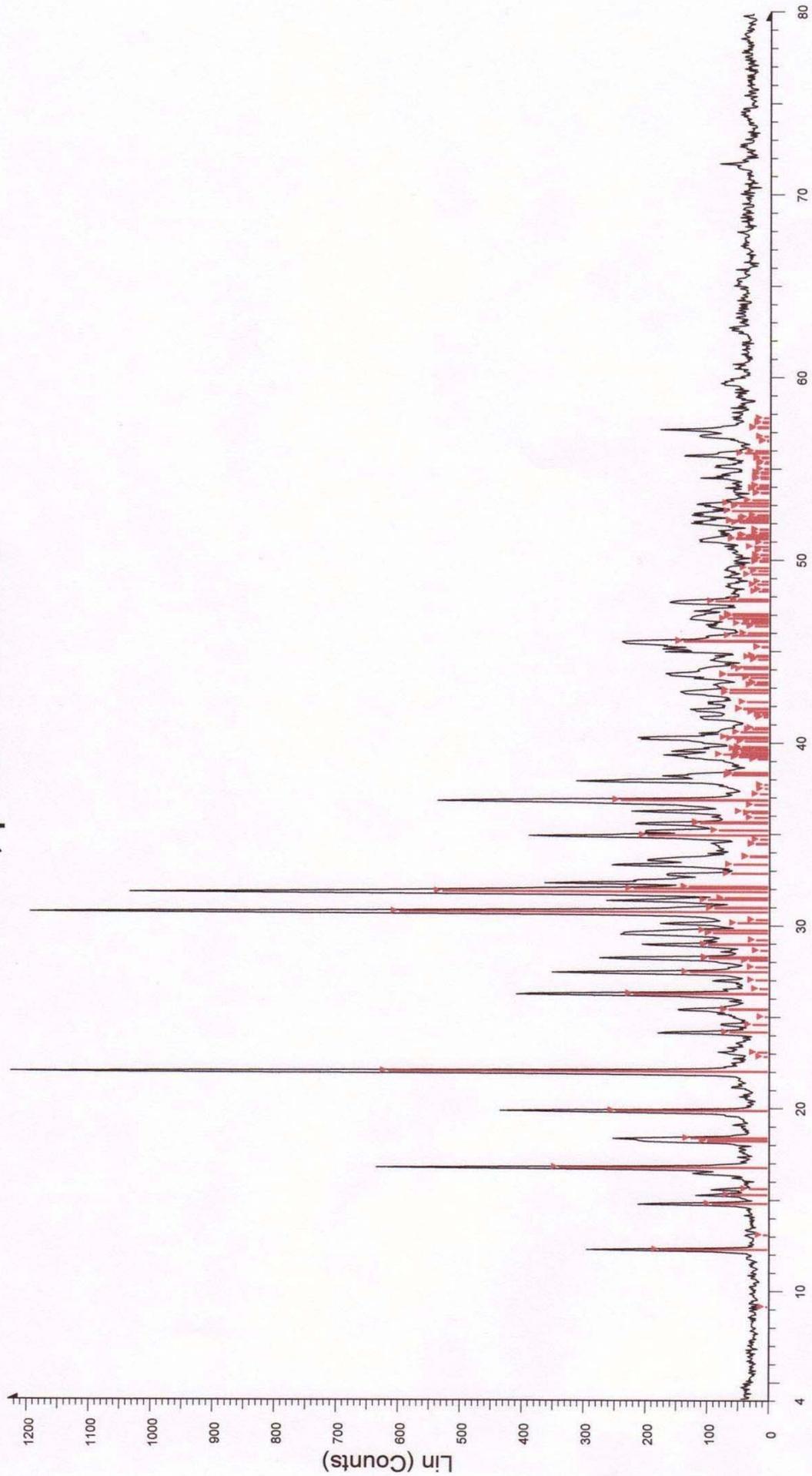
L'analyse du spectre conduit à la présence de carbonate de sodium hydraté et de formule chimique : $\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{H}_2\text{O})_7$. Sa structure est orthorhombique tout comme l'aragonite qui est aussi un carbonate. Sa masse molaire est 286,14 g/mole. Il est difficile de pouvoir commenter avec



FALAISE 2



PF1, poudre falaise



2-Theta - Scale

PF1, poudre falaise - File: PF1.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 80.000 ° - Step: 0.050 ° - Step time: 3. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 1136545280 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - Operations: Import
01-076-1108 (C) - Sodium Carbonate Hydrate - Na2CO3(H2O)7 - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 14.49200 - b 19.49000 - c 7.01700 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Primitive - Pbcn (6)

exactitude la formation de ce composé, seules des hypothèses sont possibles. Il se peut que du sel apporté par les embruns, se soit déposé sur les grillages. De plus, de l'eau de mer apportée par les vagues qui se brisent contre les enrochements, aurait très bien pu se confiner dans les fissures de la falaise en calcaire. Or des ions CO_3^{2-} sont présents dans l'eau de mer. Donc, ces ions CO_3^{2-} présents sur la falaise, auraient pu réagir avec le sel (NaCl) fixé sur les grillages pour donner un carbonate de sodium.

Cependant, la présence de ce composé s'est limitée à deux semaines.

Si on s'intéresse à la solubilité de ce carbonate de sodium dans l'eau de mer, on constate que sa solubilité augmente quand la température de l'eau de mer augmente contrairement au calcaire. En effet, les valeurs de solubilité de ce composé sont regroupées dans le tableau 7. Les solubilités sont exprimées en grammes de substance anhydre pouvant être dissoute dans 100 grammes d'eau.

	Température de l'eau (°C)			
	0	10	20	30
$\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{H}_2\text{O})_{10}$	7	12,5	21,5	28,4

B : Valeurs des solubilités du carbonate de sodium en fonction de la température de l'eau

Bibliographie

- 1** BERANGER G., MAZILLE H., (2002). Corrosion et anticorrosion : pratique industrielle. Editions Hermès.
- 2** Brevet français n° 03/50816 déposé le 7 novembre 2003:
"Procédé de régulation de la formation du Géo-ciment/Géo-béton naturel"
Publication 2862057
- 3** Demande internationale déposée le 05 novembre 2004 sous le n°: PCT/FR 2004/002853 : "Procédé pour la formation de ciment ou béton par électrolyse"
Publication WO 2005/044571.
- 4** PHILIPPONNEAU G.,(1982). Influences de divers facteurs : dépôts calcomagnésiens. Thèse de Docteur Ingénieur, C.R. Ecole Centrale Paris.
- 5** ROCHE M.,(1978). Protection contre la corrosion des ouvrages maritimes pétroliers. Formation et propriétés du film calcomagnésien sur l'acier en eau de mer (Tome1 - sous-section 1304). IFP Editions Rueil Malmaison.
- 6** SABOT R. et alt. Univ. La Rochelle,(2004). Corrosion et Protection des Métaux en Milieu marin (COR 620). E.T.I. Sciences et Techniques.
- 7** MIGNIOT C. Manuel sur l'hydrodynamique sédimentaire et l'érosion et sédimentation du littoral, Claude Migniot :